# 液体ヘリウムⅡの中の吹き流し渦輪

水　原　律　子（都立大）

（１２月２１日受理）

前論文に残された問題のうち、いくつかを解決する。まず二次元で取扱える条件を、吹き流し渦輪とソレノイドコイルとのアナロジーで求め、その条件をみたすデータから、渦輪の半径を求める。渦輪の変形に当つて、その半径は変化しないと仮定されているから、生成したばかりの渦輪も同じ半径をもつとみなせる。変形のない渦輪の速度の計算には、三次元の計算が適当だから、三次元で求めると、前論文で仮定された生成当時の速度 5.2 m/sec の数倍の値になる。(前論文でこの値を仮定し、同じ程度の半径Rが得られたのは、変形しない渦輪を二次元で渦対として計算したからで偶然の一致である）また渦輪の生成があり、それが荷電粒子に束縛されている状態でのレイノルズ数は１０程度であるから、ヘリウム流体の動粘性係数を求めることができる。渦輪－荷電粒子系が安定な条件はレイノルズ数が４０～５０以下である。吹き流し渦輪の変形につれて、系のレイノルズ数の変動を調べ系は安定であることがわかる。

前論文で、二次元の計算で求めた吹き流し渦輪の速度は

$$U=\frac{K}{2\pi A}\left[\pi-2\theta_1\right] \tag{1}$$

であつた[1]この式はAが吹き流しの半径Rにくらべて十分大きいとき、またはエネルギー$\mathcal{E}$が十分大きいときには $\theta_1=\tan^{-1}\frac{4R}{A}$ が省略できるので

$$U=\frac{K}{2A} \tag{2}$$

となる。これは、長いソレノイドコイルの電流密度が nI の時の、コイル上の磁場の強さ $H=\frac{1}{2}nI$ に対応する。故にAが十分大きいときには、二次元の計

算でもよいことがわかる。ここで、$A=(\varepsilon-\varepsilon_0)/k$，$k=4\pi R\gamma$，$\varepsilon_0$ は渦輪の生成エネルギーで、$\varepsilon$ が大きいときには、実験データから、$\varepsilon_0$ は無視してもよいことがわかる。$\gamma$ は表面張力係数 $0.22\times10^{2}$ eV/cm²。したがつて、エネルギーの大きいところで、(2)式は

$$U=\frac{K4\pi R\gamma}{2\varepsilon} \tag{3}$$

と書きかえられる。Reif 達の実験 data，35eV のときの 10cm/sec を使つて、吹き流し渦輪の半径 R を求めると

$$R=\frac{2\varepsilon U}{4\pi K\gamma}=25\times10^{-8}\ (\mathrm{cm}) \tag{4}$$

となる。

モデルの仮定によつて、半径は変化しないので、生成直後の変形していない渦輪も同じ半径をもつているとみなす。しかし、変形しない渦輪が必要なので生成時の渦輪の速度は

$$U=\frac{K}{4\pi R}\left[\ell n\frac{8R}{a}-\frac{1}{4}\right]\cong19\quad(\mathrm{m/sec})$$

となる。[2] ただし、$a=0.5\times10^{-8}$ cm [1]。この速度は前論文で引用した値、すなわち、Huang 達が Careri の実験 data から予想した生成時の速度 5.2m/sec よりかなり大きく、むしろ、Meyer の実験 data 30m/sec に近い。[3] また、Careri 達の data の極大の速度に近い。[4]

渦輪が生成され、系が安定である条件は、レイノルズ数 $\mathcal{R}=\frac{U\ell}{\nu}$ が約10であることからヘリウム流体の動粘性係数 $\nu$ が求められる。速度 U=19 m/sec，長さ $\ell$ は荷電粒子の直径で渦輪の直径の2倍位と仮定すれば $100\times10^{-8}$ cm，動粘性係数 $\nu$ は

$$\nu=1.9\times10^{-4}\quad(\mathrm{cm^2/sec}).$$

この値は、Onsager によつて指摘された h/m に大きさの程度であつている。また、1°K 近傍での実験 data にもよくあう。

レイノルズ数の変動は、このモデルでは$\ell$は一定で、Uだけが減少するのでレイノルズ数は減少し、層流は安定になる。

$\ell$として長さAをとつても、Aが十分長いところでは $\theta_1$ は無視できるのでレイノルズ数は

$$\mathcal{R} = \frac{K}{2\nu} = 2.5$$

程度の極値をもち、層流は安定に保たれるとみなせる。

References

1) 水原律子、物性研究、vol.7 no.2 (1966) 171.
2) H. Lamb; Hydrodynamics, P.241.
3) L. Meyer; Phys. Rev. 148 (1966) 145.
4) K. Huang and Z. Cesar Olinto; Phys. Rev. 139 (1965) A1441.
5) C. T. Lane; Superfluid Physics, P.168.